

KEMIN KAIVOKSEN HAJAUTETUN  
AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN MUUTOKSEN  
SUUNNITTELU

Rönkkö Jani

Opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

2023

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Jani Rönkkö	<b>Vuosi</b>	2023
<b>Ohjaaja</b>	Ins. (YAMK) Heikki Isometsä		
<b>Toimeksiantaja</b>	Outokumpu Chrome Oy		
<b>Työn nimi</b>	Ins. (AMK) Heikki Rantalankila		
	Kemin kaivoksen hajautetun automaatiojärjestelmän muutoksen suunnittelu		
<b>Sivumäärä</b>	43 + 37		

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksen hajautetun automaatiojärjestelmän muutostyön alustava suunnittelu. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä kaivoksen automaatiojärjestelmään kuuluvien prosessiasemien alaisuudessa olevien kenttälaitteiden uudelleen hajauttamisen suunnittelu. Työn tavoitteissa huomioitiin myös uuden prosessiaseman lisäys automaatiojärjestelmään.

Työssä perehdyttiin Kemin kaivoksen nykyisen hajautetun automaatiojärjestelmän ongelmiin ja niiden ratkaisuihin muutostyön näkökulmasta. Työn toteutuksessa päätavoitteeksi otettiin automaatiojärjestelmän toimintavarmuuden ja käytettävyyden parantaminen kuitenkin huomioiden ohjattavan prosessin vaatimukset.

Opinnäytetyön tulokseksi saatiin prosessiasemien alaisuudessa olevien laitteistojen hajautukseen liittyvät automaatiidokumentaatiot sekä alustava muutostyösuunnitelma. Työn tuloksia hyödynnetään myöhemmin toteutettavassa kaivoksen automaatiojärjestelmän muutostyössä.

Avainsanat                      teollisuusautomaatio, kaivos, hajautettu automaatiojärjestelmä, rikastamo, prosessinohjaus

Electrical and Automation Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Jani Rönkkö	<b>Year</b>	2023
<b>Supervisor</b>	Heikki Isometsä M.Sc. (Eng)		
<b>Commissioned by</b>	Outokumpu Chrome Oy		
<b>Title</b>	Heikki Rantalankila B.Sc. (Eng) Modification Planning for Distributed Control System at Kemi Mine		
<b>Number of pages</b>	43 + 37		

---

The subject of this thesis was the preliminary planning of the modification of the distributed control system of Outokumpu Chrome Oy's Kemi mine. The purpose of this thesis was to plan the redistribution of field equipment under the process stations belonging to the mine's automation system. The work also considered the addition of a new process station to the automation system.

The work was oriented with the problems of the current distributed control system of the Kemi mine and their solutions from the point of view of modification work. In the implementation of the work, the main goals were to improve the reliability and usability of the automation system, considering the requirements of the controlled process.

The result of the thesis is the automation documentation related to the decentralization of the equipment under the process stations, as well as the preliminary modification-work plan. The results of the work will be used later in the modification work of the Kemi mine's automation system.

**Keywords** Industrial automation, mine, distributed control system, flotation plant, process control

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	OUTOKUMPU CHROME OY .....	9
2.1	Outokumpu Oyj.....	9
2.2	Kemin kaivos .....	10
3	HAJAUTETTU AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ.....	12
3.1	Prosessiasemat ja hajautetut I/O-järjestelmät.....	14
3.2	SCADA .....	15
3.3	Profibus.....	15
3.4	Profinet .....	17
4	SIEMENS PCS7 .....	18
4.1	PCS7 Hardware .....	18
4.2	SIMATIC Manager .....	18
4.3	Siemens WinCC .....	19
4.4	PCS7:n elinkaari ja tulevaisuus .....	19
4.5	Ohjelmallinen toteutus .....	20
4.5.1	Organization Block .....	20
4.5.2	Function block .....	20
4.5.3	FC .....	21
4.5.4	DB .....	21
4.5.5	Instance DB.....	21
4.6	PCS7:n tukemat graafiset ohjelmointitavat .....	22
4.6.1	CFC.....	22
4.6.2	SFC-kaavio .....	23
5	KEMIN KAIVOKSEN NYKYINEN AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ.....	25
5.1	Nykyisen järjestelmän ongelmat .....	25
5.1.1	Laitteistojen hajautus väärin asemien alaisuudessa.....	25
5.1.2	AS4 Sykli aika on liian pitkä .....	26
5.1.3	Kriittiset järjestelmät hajautettu eri asemien alaisuuteen.....	27
5.2	Prosessiasemat ja niiden komponentit .....	28
6	MUUTOSTYÖ JA PROSESSIASEMIEN HAJAUTUS .....	30
6.1	AS11 lisäys järjestelmään.....	30

6.2	Kriittisien toimintojen jaottelu AS11 alaisuuteen .....	32
6.3	Murskevaraston toimintojen siirto AS2 alaisuuteen .....	34
6.4	Muutostyön ohjelmalliset muutokset .....	37
6.5	Muutostyön seuraukset prosessiasemien kuormitukseen.....	37
6.6	Muutostyön dokumentaatiot.....	38
7	POHDINTA.....	40
	LÄHTEET.....	41
	LIITTEET .....	43

## ALKUSANAT

Kiitän Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksen henkilökuntaa tästä opinnäytetyömahdollisuudesta. Erityisesti haluan kiittää rikastamon kunnossapitoinsinööri Heikki Rantalankilaa työn toimeksiannosta ja ohjaamisesta. Haluan myös kiittää rikastamon sähkökunnossapidon työnjohtajaa Eeva Huuhtasta, kommentista ja neuvoista liittyen muutostyöhön. Kiitän myös Insinööritoimisto ASES Oy:n Pekka Puikkoa ja Jari Peltoa teknisestä tuesta liittyen PCS7 järjestelmään.

Erytiskiitos myös opinnäytetyöni ohjaajalle Heikki Isometsälle.

Keminmaassa 29.03.2023

Jani Rönkkö

---

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

CFC	Continuous Function Chart
CP	Kommunikointiprosessori, Communications Processor
CPU	Keskusyksikkö, Central Processing Unit
DCP	Discovery and Basic Configuration Protocol
FB	Function Block
I/O	Tulo/Lähtö, Input/Output
IP	Internet protokolla, Internet Protocol
MAC	Media Access Control
OB	Organization Block
PC	Tietokone, Personal Computer
PIP	Process Image Partition
PS	Virtalähde, Power Source
SCADA	PC-Valvomo, Supervisory Control And Data Acquisition
SFC	Sequential Function Chart

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on muutostyön suunnittelu Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksen hajautettuun automaatiojärjestelmään. Työssä tullaan hajauttamaan Siemens PCS7 järjestelmään kuuluvien prosessiasemien alaisuudessa olevien järjestelmien toimintoja nykyisien prosessiasemien alaisuuteen, sekä myös yhden uuden, järjestelmään lisättävän prosessiaseman alaisuuteen. Työssä suunnitellaan myös ohjelmallisten muutoksien periaatteita, joilla laitteiston käytettävyyttä ja toimintavarmuutta parannetaan.

Prosessiasemien alaisuudessa olevien järjestelmien hajautus eri prosessiasemien kesken on epätasainen, jonka vuoksi yhden prosessiaseman alaisuudessa on enemmän toimintoja verrattuna muihin. Tämän seurauksena laitteistojen ohjelmallisen prosessin läpimenoaika on huomattavasti suunniteltua pidempi, johon laitteiston ohjelmallisesta kuormituksesta. Tästä seuraa ongelmia laitteiston toiminnan kannalta. Samoin prosessiasemien alaisuudessa olevia järjestelmiä on hajautettu siten, että ne eivät vastaa tuotantoprosessin käytön kannalta parasta mahdollista ratkaisua.

Muutostyössä suunnitellaan prosessiasemien alaisuudessa olevien järjestelmien uudelleenhajautus sekä luodaan tarvittavat dokumentaatiot. Työn ulkopuolelle rajataan sähkötekniisien kuvien valmistus, jotka toimeksiantaja tilaa ulkopuoliselta taholta sekä muutostyön konkreettinen toteutus.



## 2 OUTOKUMPU CHROME OY

Outokumpu Chrome Oy on Outokumpu Oyj:n alaisuudessa toimiva yritys, joka on keskittynyt ferrokromiliiketoimintaan. Outokumpu Chrome operoi Kemimaassa sijaitsevaa Kemin kaivosta sekä Torniossa sijaitsevaa Ferrokromitehdasta. Kemin kaivos toimittaa Tornion ferrokromitehtaalle kromia, josta siellä valmistetaan ferrokromia. Tuotettua ferrokromia käytetään ruostumattoman teräksen raaka-aineena Outokumpu Stainless Oy:n Tornion terästehtaalla, samoin kuin Outokummun muilla terästehtailla; Avestassa, Sheffieldissä ja Calvertissa. Ferrokromia myydään myös sellaisenaan maailman markkinoille. (Outokumpu Oyj 2022)

### 2.1 Outokumpu Oyj

Outokumpu Chromen emoyhtiö Outokumpu Oyj on terästeollisuutta harjoittava julkinen osakeyhtiö, joka on keskittynyt ruostumattoman teräksen valmistukseen. Outokummun toiminnan alku sijoittuu vuoteen 1914, kun malmialueen omistaja Hackman & Co. sekä Suomen valtio perustivat Outokumpu Kopparverk -nimisen avoimen yhtiön, joka harjoitti kuparintuotantoa Kuusjärveltä vuonna 1910 löytyneestä kupariesiintymästä. Vuosina 1917–1920 yritys oli vuokralla norjalaisomistuksessa olleella Hybinette-yhtiöllä, joka perusti Outokummun Kupari Oy:n, jonka nimi lyhennettiin muotoon Ab Outokumpu Oy vuoden toiminnan jälkeen. Vuonna 1921 norjalaisten osakkuus päättyi ja suomalaisosakkaat jatkoivat yrityksen toimintaa. Vuonna 1924 Suomen valtio kansallisti Outokummun. (Outokumpu Oyj 2021)

Outokummusta muodostettiin osakeyhtiö vuonna 1932. Outokumpu harjoitti pitkään kuparintuotantoa kunnes 1950- ja 1960-luvuilla siirtyi muiden metallien tuotantoon. Näitä olivat nikkeli, sinkki ja koboltti. Vuonna 1959 Kemissä sijainneesta makeavesikanavasta löytyi kromilohkare ja esiintymän jatkotutkimuksien myötä perustettiin Kemin kaivos. Ferrokromin tuotantoa varten Tornioon perustettiin ferrokromitehdas, jonka toiminta alkoi vuonna 1968. Koska Outokummulla oli kahden ruostumattoman teräksen valmistuksessa käytettävän raaka-aineen, kromin

ja nikkelin, omaa tuotantoa, alettiin tutkimaan ruostumattoman teräksen valmistusmahdollisuutta. Tornioon perustettiin ruostumattoman teräksen tehdas, jossa ensimmäinen sulatuserä valmistui vuonna 1976. (Outokumpu Oyj 2021)

Vuonna 1988 Outokumpu listattiin Helsingin pörssiin ja 1990- ja 2000-luvulle tullessa Outokumpu alkoi keskittymään yksinomaan ruostumattoman teräksen valmistukseen. Vuonna 2001 Outokumpu yhdistyi Avesta Sheffield -nimisen yrityksen kanssa, muodostaen uuden AvestaPolarit -nimisen yrityksen. Vuonna 2004 tehtiin päätös keskittymisestä yksinomaan ruostumattoman teräksen valmistukseen, ja täten alettiin vähitellen luopumaan muista toiminnoista ja tuotteista. Tällöin myös yrityksen nimi, AvestaPolarit, vaihtui takaisin Outokummuksi. Nykyään yrityksen päätoimialana on ruostumattoman teräksen valmistus. (Yle Uutiset 2004; Outokumpu Oyj 2021)

## 2.2 Kemin kaivos

Kemin kaivos (tunnetaan myös nimellä Elijärven kaivos) on Outokumpu Chrome Oy:n omistama kaivos, joka sijaitsee nimestään huolimatta Kemin kaupungin pohjoispuolella, Keminmaan kunnan alueella. Ainoana kromikaivoksena Euroopan Unionin alueella, Kemin kaivos on osa Outokummun integroitua ruostumattoman teräksen ja ferrokromin valmistusketjua. (Kaivosvastuu 2021)

Vuonna 1959 sukeltaja Martti Matilainen löysi Kemissä sijainneesta makeavesikanavasta kromilohkareen, jonka perusteella aloitettiin kromiesiintymän tutkimukset. Kromiesiintymä paljastui merkittäväksi ja täten vuonna 1968 Outokumpu avasi Kemin kaivoksen. Kaivos toimi aluksi avolouhosperiaatteella, kunnes vuonna 2003 aloitettiin maanalainen louhinta. Avolouhostoiminta päättyi vuonna 2005, ja sen jälkeen kaikki malmi on louhittu maanalaisena louhintana. Vuonna 2017 Kemin kaivoksella käynnistyi DeepMine-projekti, jossa aloitettiin kaivostoinnin laajentaminen nykyiseltä 500 metrin syvyydestä, 1000 metrin syvyyteen tehtävälle päätasolle. (Kaivosvastuu 2021)

Kaivoksen eri yksiköt ovat itse maanalainen kaivos sekä rikastamo. Kaivoksen tuotantoprosessissa maanalaisesta kaivoksesta louhittu malmi kuljetetaan kaivoksessa olevaan murskaamoon. Sieltä murskattu malmi nostetaan nostoko-

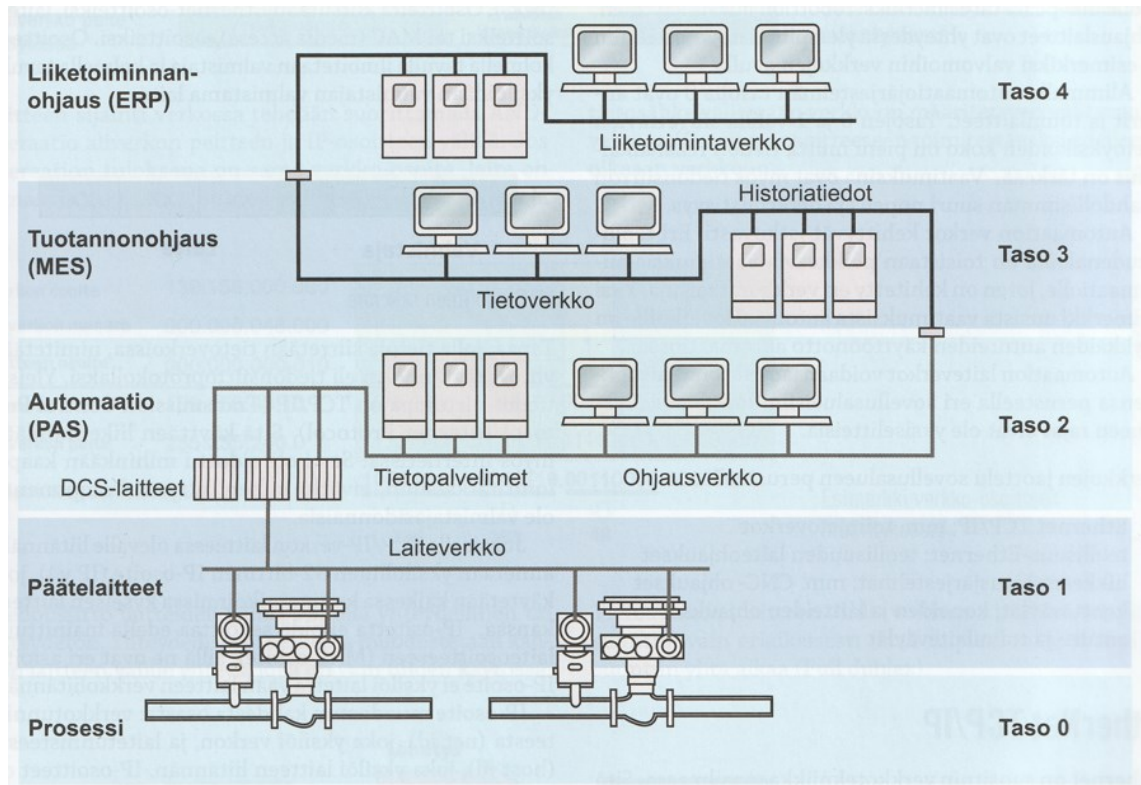
neella maanpäälliseen rikastamoon. Rikastusprosessissa malmi jälleen murskaataan rikastamon omassa murskaamossa. Esimurskattu malmi jaotellaan pala- ja hienorikastuksen prosesseihin. Palarikastamolla malmista erotetaan palarikaste, raskasväliaine-erotusta käyttäen. Hienorikastamolla malmi jauhetaan ja rikastetaan painovoimaan perustuvalla rikastusmenetelmällä hienorikasteeksi. Tämän jälkeen pala- ja hienorikasteet kuljetetaan Tornion ferrokromitehtaalle jatkokäsittelyä varten. Koska kaivoksen rikastusmenetelmä ei sisällä kemikaaleja vaan perustuu painovoimaan sekä kaivoksen rikastusprosessiveden vesikierto on suljettu, kaivoksen toiminnasta aiheutuvat ympäristövaikutukset ovat vähäiset. Vuonna 2021 kaivos tuotti palarikastetta 318 562 t ja hienorikastetta 822 622 t. Kokonaislouhinta oli 4,058 Mt. (Kaivosvastuu 2021)

### 3 HAJAUTETTU AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Pääpiirteittäin teollisuuden prosessiautomaatiojärjestelmät voidaan jakaa kahden eri kategoriaan: keskitettyihin- ja hajautettuihin prosessiautomaatiojärjestelmiin. Näiden konkreettinen eroavaisuus on kentältä saadun tiedon käsittely ja sen perusteella tapahtuva prosessin ohjaus.

Ennen prosessiautomaatiojärjestelmien ja niiden tiedonsiirron kehittymistä, prosessiautomaatiojärjestelmät olivat yksinomaan keskitettyjä. Keskitetty prosessiautomaatiojärjestelmä tarkoitti yhtä valvomoa, johon tuotiin ja josta vietiin kaikki viestit kenttälaitteille joko sähköisesti (4-20mA virtaviesti tai +24VDC binäärinen viesti), tai pneumaattisesti. Valvomoissa kentältä saatu informaatio esitettiin pääasiassa analogisessa muodossa, mittareilla ja piirtureilla. (Mäkinen ym. 2009, 156)

Tästä kehittyneempi järjestelmä on hajautettu automaatiojärjestelmä, joka nykyään on yleisempi ratkaisu. Hajautetussa prosessiautomaatiojärjestelmässä käsiteltävät tiedot ja suoritettavat toiminnot jaetaan useammalle eri yksikölle. Hajautetun automaatiojärjestelmän etu on kentältä saadun tiedon tallennus ja saavutettavuus. Esimerkiksi tätä ratkaisua käytettäessä tieto saadaan kentältä asti vietyä suoraan toiminnanohjausjärjestelmään. Oleellinen osa järjestelmää on myös kenttäväylä, jonka ansiosta kaapeloinnin tarve vähenee huomattavasti. Samoin prosessin toimintavarmuus paranee, koska toimintoja on hajautettu eri järjestelmien alaisuuteen. Hajautuksen ansiosta, mahdollisessa vikatilanteessa yhden yksikön vika ei pysäytä koko järjestelmän toimintaa. Hajautetun automaatiojärjestelmän osia ovat prosessiasemat, hajautetut I/O:t, PC-valvomot, älykkäät kenttälaitteet, kenttäväylät ja etäkäyttöasemat. (Mäkinen ym. 2009, 156)



Kuvio 1: Hajautettu automaatiojärjestelmä (Keinänen ym. 2019, 277)

Kuviossa 1 on esitetty esimerkkikuva hajautetun automaatiojärjestelmän kokonaisuudesta tasoittain. Tasolla 0 on tuotantoprosessi ja sen kentälaitteet ja instrumentit, joihin mittaus- ja säätötarve kohdistuu. Tasolla 1 on ohjelmoitavat logiikat, jotka suorittavat kentälaitteiden mittauksia ja ohjauksia asetetun ohjelman mukaisesti. Tasolla 2 on prosessiasemat, tietopalvelimet ja prosessin ohjaus. Prosessiasemat ovat prosessin ohjauksen ja säädön solmukohta. Sen läpi kulkee kentälaitteista saatu mittausinformaatio esitettäväksi PC-valvomoon sekä PC-valvomoon ohjauksikäskyt prosessiaseman alaisuudessa olevan automaatiojärjestelmän toteutettaviksi. Prosessiasemia on tyypillisesti useampia toimintojen hajautuksen vuoksi. Tasolla 2 oleva ohjausverkko sisältää PC-valvomoon etäkäytömahdollisuuksineen sekä automaatiojärjestelmien ohjelmointilaitteiston. Taso 3 on tuotannon ohjauksen (Manufacturing Executing Systems, MES) taso, jossa prosessista saadulla informaatiolla tehdään tuotannosuunnittelua. Taso 4 on liiketoiminnanohjausjärjestelmät (Enterprise Resource Planning, ERP) jossa käsitellään suuri määrä yrityksen liiketoimintaan liittyvää tietoa kuten taloushallinnon ja myynnin tietoa. (Keinänen ym. 2019, 278)

### 3.1 Prosessiasemat ja hajautetut I/O-järjestelmät

Prosessiasema on osa hajautettua automaatiojärjestelmää. Prosessiaseman tehtävänä on yhdistää ylemmän tason prosessin ohjaus ja valvonta sekä alemman tason mittaus- ja ohjausjärjestelmä toisiinsa. Prosessiasema lähettää ja vastaanottaa tietoa käyttäjän ja muiden asemien välillä. Prosessiaseman vastaanottama tieto on tyypillisesti käyttäjän asettamia asetusarvoja ja ohjauksia sekä tietoa järjestelmän muilta asemilta. Prosessiasema lähettää saadut ohjaukset sen alaisuudessa oleviin hajautettuihin I/O-järjestelmiin, jotka on kytketty kenttälaitteisiin. Kentältä saatu tieto, kuten mittauksilukemat, menevät hajautettujen I/O-järjestelmien kautta prosessiasemaan, joka lähettää sen eteenpäin käyttäjälle ja tarpeen mukaan muille asemille. Yhteys eri yksiköiden välillä on toteutettu tyypillisesti kenttäväyläteknologialla. (Kippo & Tikka 2008, 48)

Hajautettujen I/O-järjestelmien tarkoitus on yhdistä kenttälaitteet ja prosessiasema toisiinsa. Hajautetut I/O-järjestelmät sijoitetaan yleensä lähemmäksi kenttälaitteita ja prosessia, prosessiaseman sijaintiin verrattuna. Tämän etuna on vähäisemmän kaapeloinnin tarve. I/O-moduulin ja prosessiaseman välinen tiedonsiirto vaatii vain kenttäväylän, kun taas tilanteessa, jossa I/O-moduulin perässä olevien laitteiden kaikki johtimet viettäisiin prosessiasemalle asti, kaapeloinnin tarve olisi suurempi. (Kippo & Tikka 2008, 48)

Prosessiaseman osia ovat laitteisto- ja valmistajakohtainen asennuskisko, johon asema asennetaan, virtalähde (Power Supply, PS) joka muuntaa syöttöjännitteen laitteistolle sopivaksi, keskusyksikkö (Central Processing Unit, CPU) joka suorittaa aseman toiminnot, kiinteät tai hajautetut I/O-kortit sekä kommunikaatiokortit, joissa on paikat kenttäväyläkytkennöille. (Berger 2013, 20)

### 3.2 SCADA

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) tarkoittaa PC-valvomon valvomo-ohjelmistoa. Ohjelmiston käyttötarkoituksena on käyttäjän ja automaatiojärjestelmän välinen kommunikointi ja ohjaus. SCADA järjestelmästä käyttäjä seuraa visuaalisesti automaatiolaitteiston suorittaman prosessin tilaa sekä antaa ohjaukaskäskyjä automaatiojärjestelmälle. Ohjelmistoon voi myös kuulua mahdollisuus seurata automaatiojärjestelmän ja prosessin toiminnan historiallista dataa, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi vianselvityksessä. SCADA on osa hajautettua automaatiojärjestelmää. (Kippo & Tikka 2008, 55)

### 3.3 Profibus

PROFIBUS (PROcess FieLd BUS) on kenttäväyläprotokolla, joka julkaistiin avoimesti osana kansainvälistä standardia IEC 61158 vuonna 2000. Profibus kenttäväylän tarkoitus automaatiojärjestelmässä on eri yksiköiden välinen tiedonsiirto. Tiedonsiirron nopeus vaihtelee käytettävän teknologian mukaan 9,6kbps – 12Mbps välillä. (Mitchell 2004, 2)

Profibus voidaan jakaa kolmeen eri väyläkategoriaan:

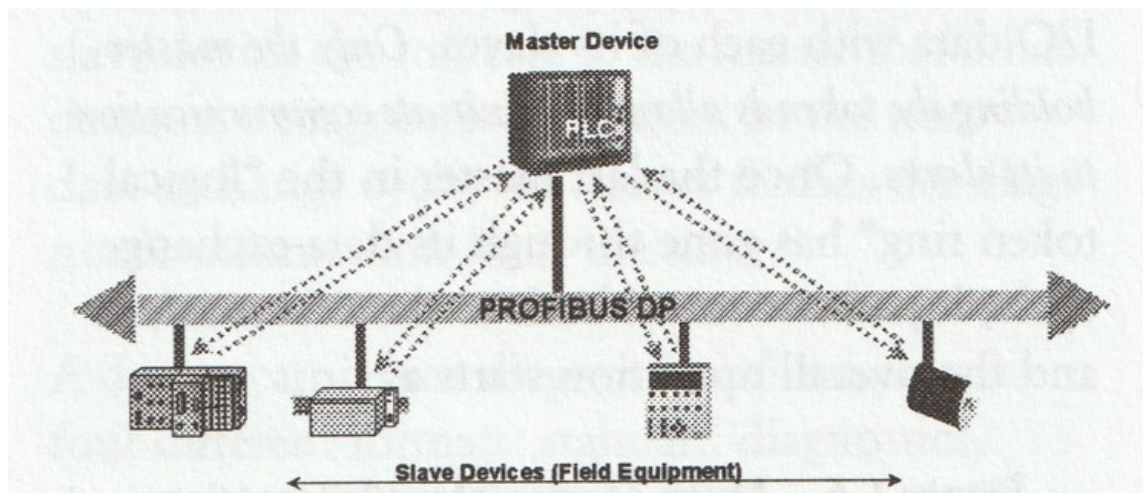
- Profibus FMS (Fieldbus Message Specification)
- Profibus DP (Decentralized Periphery)
- Profibus PA (Process Automation).

Merkittävin ero näiden välillä on Profibus FMS väylän eroavaisuus muista. Sen ainoa käyttötarkoitus on automaatiojärjestelmässä isäntälaitteiden välinen viestintä (master to master). Profibus FMS onkin korvattu nykyään pääasiassa Ethernet protokollaan liittyvillä ratkaisuilla (Mitchell 2004, 1). Sen sijaan Profibus DP ja Profibus PA ovat vielä yleisesti käytössä prosessiautomaatiossa. Molemmat toimivat isäntälaitte ja orjalaitte -periaatteella (master/slave).

Profibus DP -väylää käytetään automaatiojärjestelmän sekä kentälle hajautettujen järjestelmien kuten kenttälaitteiden ja hajautettujen I/O-yksiköiden väliseen tiedonsiirtoon. Profibus DP-väylän tiedonsiirtonopeus vaihtelee tiedonsiirtoon

käytettävän kaapelin pituudesta. Suurin tiedonsiirtonopeus, 12 Mbps, saavutetaan maksimissaan 100 metrin pituisella väyläsegmentillä. Väylärakenne noudattaa standardia RS 485. Tiedonsiirrossa voidaan käyttää myös optista kaapelia, jolloin vältetään tiedonsiirtohäiriöitä.

Profibus PA-väylällä yhdistetään yhteiseen väylään kenttälaitteita ja antureita sekä sitä käytetään Profibus DP-väylän yhteydessä. Profibus DP- ja PA-väylät yhdistetään toisiinsa joko linkkilaitteella (Linking device) tai kytkinlaitteella (Coupler). Samassa Profibus PA-väylässä tapahtuu sekä tiedonsiirto että myös virransyöttö, joten erillistä kenttälaitteiden ohjausjännitettä ei tarvita. PA-väylä on toteutettu 2-johdintekniikalla sekä sen tiedonsiirtonopeus on kiinteä 31,25 kbps. Profibus PA-väylän merkittävä etu on soveltuvuus käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa. (Kippo & Tikka 2008, 74–76; PROFIBUS Nutzerorganisation 2016)



Kuvio 2: Profibus Master/Slave-periaate (Mitchell R.W. 2004, 13)

Profibus toimii kaksisuuntaisesti, mikä tarkoittaa sitä, että isäntälaitte lähettää pyynnön orjalaitteelle ja orjalaitte vastaa tähän pyyntöön isäntälaitteelle. Olennainen osa kenttäväylän toimintaa ovat myös osoitteet. Koska jokainen kenttäväylässä oleva laite "kuulee" isäntälaitteen lähettämän käskyn orjalaitteelle, on jokaisella väylässä olevalla laitteella oltava oma osoite. Tämän ansiosta isäntälaitteen käsky voidaan kohdistaa oikealle laitteelle. Profibus-protokolla tukee



osoitteita 0–127 ja laitteen osoite määritetään joko konfigurointityökalun avulla tai laitteessa olevin kytkimin. Profibus DP-väylässä osoitteet kohdistuvat aina kyseisen väylän laitteisiin. Yhden prosessiaseman alaisuudessa voi olla useampikin samalla osoitenumeraalla oleva laite mutta koska ne ovat eri DP-väylässä, ei niiden osoitteissa ja ohjauksissa muodostu päällekkäisyyksiä. (Mitchell 2004, 5)

### 3.4 Profinet

Profinet on Ethernet-pohjainen tiedonsiirtostandardi, jota käytetään prosessiteollisuudessa Profibus-kenttäväylän tavoin, automaatiojärjestelmän eri yksiköiden väliseen tiedonsiirtoon. Profinet on Ethernet-yhteensopiva ja sen käytössä voidaan hyödyntää langatonta WLAN tiedonsiirtoa. Profinet-verkko voidaan toteuttaa rengas-, tähti-, puu- ja väylätopologialla. Profinet-verkossa laitteiden osoitteet perustuvat laitteen IP-verkko-osoitteeseen sekä laitteen yksilöivään MAC-osoitteeseen. Tämä perustuu DCP-protokollaan. (PNO 2014)

Profinet-tekniikassa tiedonsiirtonopeus vaihtelee käytettävän tekniikan mukaan. Profinet voidaan jaotella kahteen eri kategoriaan: Profinet Real-Time (RT) ja Profinet Isochronous Real-Time (IRT). Profinet RT täyttää suurimmilta osin käyttökohteiden toimintanopeus-vaatimukset. Profinet RT-tekniikassa verkon sykli aika on alle 10 millisekuntia ja vasteaika alimmillaan 250 mikrosekuntia (Siemens AG, 2020). Kohteissa, joissa tarvitaan tätäkin nopeampaa yhteyttä, käytetään Profinet IRT-tekniikkaa. Profinet IRT:n synkronoitu sykli aika on alimmillaan 31,25 mikrosekuntia. (PI International 2018)

## 4 SIEMENS PCS7

Siemens PCS7 on Siemens AG:n kehittämä hajautettu prosessinohjausjärjestelmä, joka on hyvin yleinen prosessiteollisuuden ohjausjärjestelmissä. PCS7:n käyttämiä yhteysmuotoja hajautetun automaatiojärjestelmän eri yksiköiden välillä ovat yleisimmät kommunikointiprotokollat, kuten Profibus ja Profinet. (Siemens AG 2017)

### 4.1 PCS7 Hardware

Siemens PCS7 prosessinohjausjärjestelmässä käytettävät laitteistot ovat yksinomaan kyseiselle järjestelmälle tarkoitettuja ja suunniteltuja laitteita. PCS7 järjestelmässä käytettävä prosessiasematyyppi AS 410 ja sen CPU 410-5H pohjautuu Siemensin hyvin yleiseen S7-400 sarjan ohjelmitavaan logiikkaan. (Siemens Osakeyhtiö 2023)

### 4.2 SIMATIC Manager

SIMATIC Manager on laitteistojen ohjelmallisten projektien hallintaan käytetty ohjelmisto, joka on osa PCS7-kokonaisuutta. SIMATIC Manager ohjelmistolla suunnitellaan, hallitaan, arkistoidaan ja dokumentoidaan PCS7-projekteja. SIMATIC Manager sisältää ohjelmallisen-, laitteisto- ja tietoliikennetoimintosuunnitteluun tarvittavat ohjelmistot ja ne käynnistetään sen sisältä.

Projektissa käytettävä laitteisto, kuten automaatio-, kommunikaatio- ja I/O-järjestelmät konfiguroidaan ja parametroidaan käyttäen Hardware configuration sovellusta. Hardware configuration sovellus sisältää PCS7 yhteensopivat laitteistot eräänlaisessa elektronisessa kirjastossa, josta ne voidaan noutaa käytettäväksi projektin luomisessa. Laitteistojen tulee olla fyysistä laitteistoa vastaavat.

SIMATIC Manager sisältää myös ohjelmallisen suunnittelun työkalun, jolla luodaan PCS7-ohjauksena alaisuudessa oleville automaatiojärjestelmille toimintaohjelma. (Siemens AG 2017)

### 4.3 Siemens WinCC

Siemens WinCC on prosessin visualisointijärjestelmä, eli SCADA-ohjelmisto. WinCC järjestelmää käytetään prosessinvalvontaan ja se on osa PCS7 järjestelmää. WinCC ohjelmistoja on erilaisia, eri käyttötarkoitukseen ja ne kaikki kuuluvat SIMATIC SCADA tuoteperheeseen. Markkinoilla on kolme eri WinCC järjestelmää: WinCC Professional, WinCC V7 ja WinCC Open Architecture. (Siemens AG 2022)

### 4.4 PCS7:n elinkaari ja tulevaisuus

Toistaiseksi ei ole julkaistu aikataulua Siemens PCS7-järjestelmän ja AS 410 prosessiaseman elinkaaren päättymisen suhteen. PCS7-järjestelmän tuotteiden myyntiä ja teknistä tukea ei ole suunniteltu toistaiseksi lopetettavan, vaan PCS7-järjestelmä ja AS 410-prosessiasema pysyvät markkinoilla ainakin seuraavat 10–15 vuotta. S7-400 sarjan ohjelmoitavien logiikkojen tuoteperhe sisältää useita erilaisia CPU-malleja, jotka poistuvat aiemmin markkinoilta, mutta ne eivät ole osa PCS7-järjestelmää. Työssä käytettävä ET200M tuotesarjansarjan hajautetun I/O-yksikön elinkaari on päättymässä siten että sen ”Phase out”-vaihe alkaa 1.10.2023, ja tuotteita on saatavilla uusiin asennuksiin vielä kahden vuoden ajan. Varaosia tämän kahden vuoden jälkeen on vielä saatavilla 10 vuoden ajan. (Siemens Osakeyhtiö 2023)

Pitkällä aikavälillä PCS7:n seuraaja tulee olemaan PCS NEO. Lyhyellä aikavälillä ei ole tarvetta korvata PCS7 järjestelmän olemassa olevia toteutuksia PCS NEO-järjestelmällä ja PCS7 on sopiva myös uusien projektien toteutuksiin. Siemensin suositus on päivittää PCS7 projektit versio V9.x:een ja samalla tarkastella nykyisten ja uusien projektien PCS NEO valmiuskriteereitä. (Siemens Osakeyhtiö 2023)

## 4.5 Ohjelmallinen toteutus

PCS7 järjestelmän laitteiden ohjelmointi tapahtuu käyttäen SIMATIC Manager ohjelmistoa, jolla tehdään tarvittavat konfiguraatiot laitteistoon sekä luodaan tarvittava ohjelma, jonka laite suorittaa. PCS7-järjestelmä tukee ainoastaan graafisia ohjelmointitapoja CFC ja SFC, jotka on selitetty seuraavassa kohdassa, muiden ohjelmakäsitteiden ohella. (Siemens Osakeyhtiö 2023)

### 4.5.1 Organization Block

Organization Block (OB) on ohjelmallinen lohko, joka muodostaa logiikassa käyttäjäohjelman ja raudan käyttöjärjestelmän välisen rajapinnan. Käyttöjärjestelmä kutsuu OB-lohkoja ja tämän seurauksena ohjaa syklisiä tai tapahtumaperusteista ohjelmansuoritusta. OB-lohkojen ominaisuuksiin voi kuulua esimerkiksi tarkoituksellinen intervallinen sykliviive, vuorokaudenaikaohjaus, vikatilanneperusteinen ohjaus tai raudan käynnistysperusteinen ohjaus. OB-lohkon tunnus määrittää lohkon toimintatavan ja esimerkiksi PCS7 version Manager ohjelmistossa oletuksena lohko OB35 sisältää 100ms intervallin sykliviiveen. Tätä voidaan kuitenkin muuttaa ohjelmasta lohko kohtaisesti. Laittevalmistajan käyttöohjeet sisältävät tiedot, mitä ominaisuuksia kukin lohko sisältää, samoin kuin tunnukset näille lohkoille. Eri CPU laitteiden välillä on eroja siinä, mitä OB-lohkoja CPU tukee. (Siemens AG 2021)

### 4.5.2 Function block

Function Block eli toimilohko on koodilohko, jonka tarkoituksena on tallentaa tulo- (input), lähtö- (output) ja in/outputparametrit pysyvästi instanssietolohkoihin (Instance Data Blocks), jotta ne ovat käytettävissä myös lohkon suorittamisen jälkeen. Toimilohkot voivat sisältää myös aliohjelmia, jotka suoritetaan aina toisen koodilohkon kutsuessa toimilohkoa. Tämä voi tapahtua myös useita kertoja ohjelman eri vaiheissa. Tämän vuoksi toistuvien toimintojen ohjelmointi on yksinkertaisempaa. (Siemens AG 2021)

#### 4.5.3 FC

Functions (FC:t) kuuluvat lohkoihin, jotka ohjelmoidaan itse. Funktio on toimilohko "ilman muistia", eli ne ei sisällä parametrien tallennusta instanssietolohkoihin. FC:hen kuuluvat väliaikaiset muuttujat tallennetaan paikalliseen tietopiinon. Kun FC on suoritettu, nämä tiedot menetetään. Toiminnot voivat myös käyttää jaettuja tietolohkoja tietojen tallentamiseksi pysyvästi. Koska FC:llä ei ole omaa muistia, sovelluksentekijän on aina määritettävä sille asetusarvot. (Siemens AG 2021)

#### 4.5.4 DB

Data Block (DB) -lohkoa käytetään ohjelmatietojen tallentamiseen. Data Block-lohkot sisältävät muuttuvaa dataa, jota käyttäjäohjelma käyttää. Global Data Block-lohkot tallentavat tietoja, joita muut lohkot voivat käyttää. Data Block -lohkojen enimmäiskoko vaihtelee CPU:n mukaan. Käyttäjä voi määrittää Global Data Block-lohkojen rakenteen, haluamallaan tavalla. (Siemens AG 2021)

#### 4.5.5 Instance DB

Instance DB (Instance Data Blocks) -lohkot määritetään jokaiselle parametreja siirtävälle toimilohko (FB) -kutsulle. Instance DB-lohkoon on tallennettu kyseisen toimilohkon parametrit. FB:ssä ilmoitetut muuttujat määrittävät Instance DB-lohkon rakenteen. Instance DB nimitys tulee lohkon toimintatavasta. Instance tarkoittaa esiintymää ja tässä tapauksessa se tarkoittaa FB:n kutsun esiintymää. Esimerkiksi toimilohkoa kutsuttaessa kolme kertaa käyttäjäohjelmassa tulee tässä tapauksessa lohkkoon kolme esiintymää. (Siemens AG 2021)

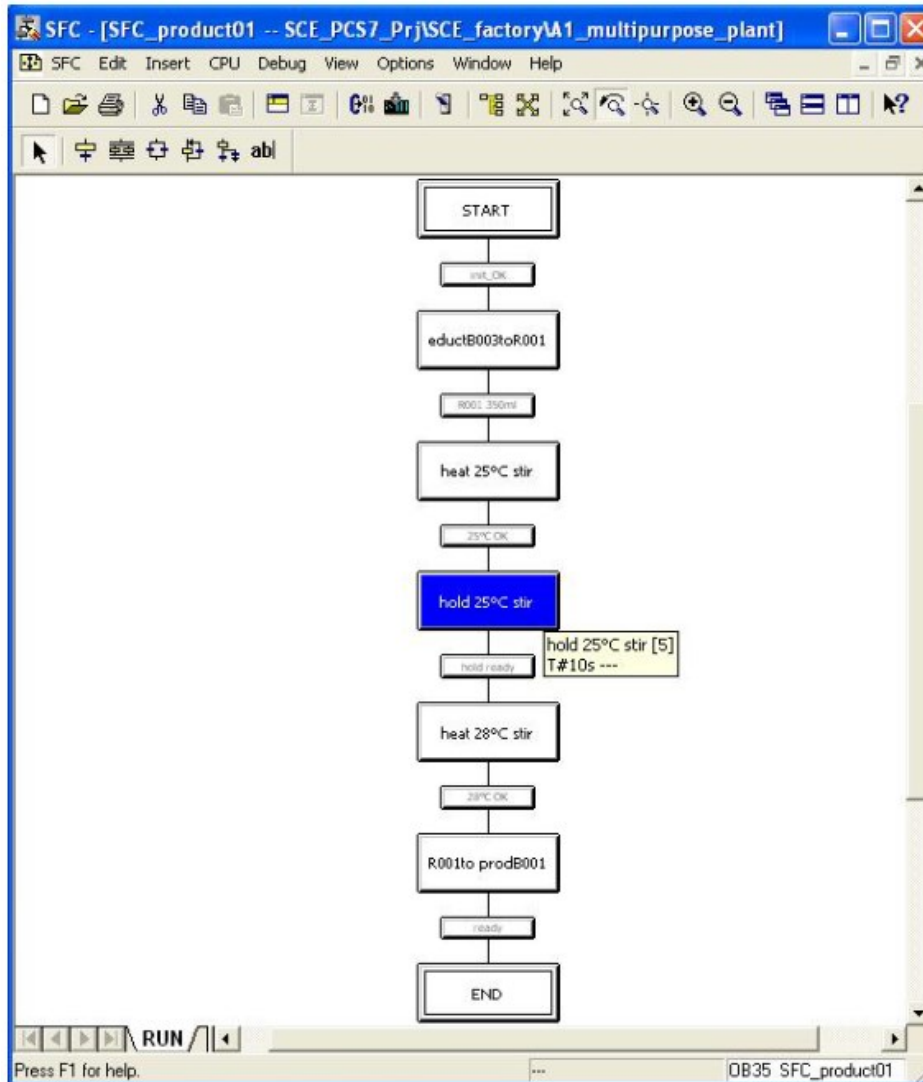
## 4.6 PCS7:n tukemat graafiset ohjelmointitavat

Tässä osiossa on käsitelty PCS7 järjestelmän tukemat graafiset ohjelmointitavat. PCS7 järjestelmä tukee ainoastaan graafisia ohjelmointitapoja CFC ja SFC. Kuitenkin on mahdollista erillistä S7-GRAPH työkalua käyttäen ohjelmoida omia Function Blockkeja, jotka käytetään CFC:n kautta kutsuttuna. Tämän kaltainen ohjelmallinen toteutustapa on erittäin harvinainen PCS 7 -projekteissa. (Siemens Osakeyhtiö 2023)

### 4.6.1 CFC

CFC-kaavio (Continuous Function Chart) on graafinen ohjelmointitapa. Sitä käytetään PCS7-ohjelmoinnissa ja se sisältää valmiita ohjelmistorakennelohkoja, joita voidaan käyttää ohjelman luomisessa. Tämä helpottaa ohjelmoijan työtaakkaa koska normaalit ohjelmalliset toteutukset ovat valmiita ohjelmaan lisättäväksi. Ohjelmoija määrittää lohkoihin tarvittavat parametrit ja yhdistää ne tarvittaessa toisiin lohkoihin, mikäli luodaan laajempaa ohjelmakokonaisuutta. Kaikki CFC-kaaviot, joita ohjelmassa on käytetty, löytyvät PCS7 SIMATIC Managerin ”Charts” kasiosta.





Kuvio 4: Kuvakaappaus SFC-kaaviosta (Siemens AG 2010, 15)

Kuviossa 4 on esimerkkikuva SFC-Kaaviosta SIMATIC Manager ohjelmistossa. Kuvassa nähdään ensimmäinen ohjelman aloitussekvenssi, joka on merkitty ”Start” nimikkeellä ja viimeinen sekvenssi, joka on merkitty ”END” nimikkeellä. Logiikka käy ohjelman läpi Start sekvenssistä END sekvenssiin, suorittaen vaiheittain kaavioon isommilla laatikoilla merkatut sekvenssitoiminnot. Kaavion pienemmät laatikot kuvaavat siirtoehtoja, joiden täytyy toteutua, jotta laite voi siirtyä ohjelmassa seuraavaan vaiheeseen.



## 5 KEMIN KAIVOKSEN NYKYINEN AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Kemin kaivoksella käytössä oleva hajautettu automaatiojärjestelmä on tyypiltään Siemens PCS7. Prosessiasemien tyyppi on AS 410. Järjestelmä koostuu kymmenestä eri prosessiasemasta, jotka on nimetty tunnuksin AS1, AS2 jne. Järjestelmään kuuluu myös 7 kappaletta ohjausasemia (Operating Station) jotka ovat valvomotietokoneita sekä kolme eri ohjelmointiasemaa (Engineering Station) jolla järjestelmää muokataan ja ylläpidetään ohjelmallisesti. Prosessiasemat ovat jaoteltu kaivoksen tuotantoprosessin eri yksiköiden mukaan, sisältäen kaivoksen maanalaiset ja maanpäälliset toiminnot. Hajautetun automaatiojärjestelmän tiedonsiirtomenetelmänä automaatiolaitteistojen ja hajautettujen I/O-yksiköiden tai suoraan väylään kytkettyjen kenttälaitteiden, esimerkiksi taajuusmuuttajien, välillä käytetään Profibus-kenttäväylää.

Työssä pääasiassa keskitytään prosessiaseman AS4 alaisuudessa olevien järjestelmien jaotteluun. Prosessiasema AS4 ohjaa enimmäkseen kaivoksen hienorikastamon järjestelmiä. Työssä tehdään muutoksia myös murskaamon (AS2) sekä hienorikastamon (AS5) asemiin.

### 5.1 Nykyisen järjestelmän ongelmat

Haastatteluissa, jotka käytiin sekä rikastamon kunnossapitoinsinöörin, kaivoksen automaatiojärjestelmän ylläpidosta vastaavan Ases Oy:n työntekijöiden ja tuotantoprosessin valvomohenkilökunnan kesken, ilmeni seuraavat ongelmat nykyisessä automaatiojärjestelmässä.

#### 5.1.1 Laitteistojen hajautus väärin asemien alaisuudessa

Lähtökohtaisesti kaivoksen eri prosessiasemien alaisuudessa, jotka on jaettu tuotantoprosessin eri yksiköiden kesken, tulisi olla kyseiselle prosessille nimetyn aseman alaisuudessa tämän prosessin kenttälaitteet ja järjestelmät. Esimerkiksi hienorikastamon prosessiaseman AS4 alaisuudessa tulisi olla hienorikastamon kenttälaitteet ja järjestelmät. Näin ei aina kuitenkaan ole vaan koska ajansaatossa tuotantoprosessia on laajennettu ja uusia laitteistoja lisätty, on asemien

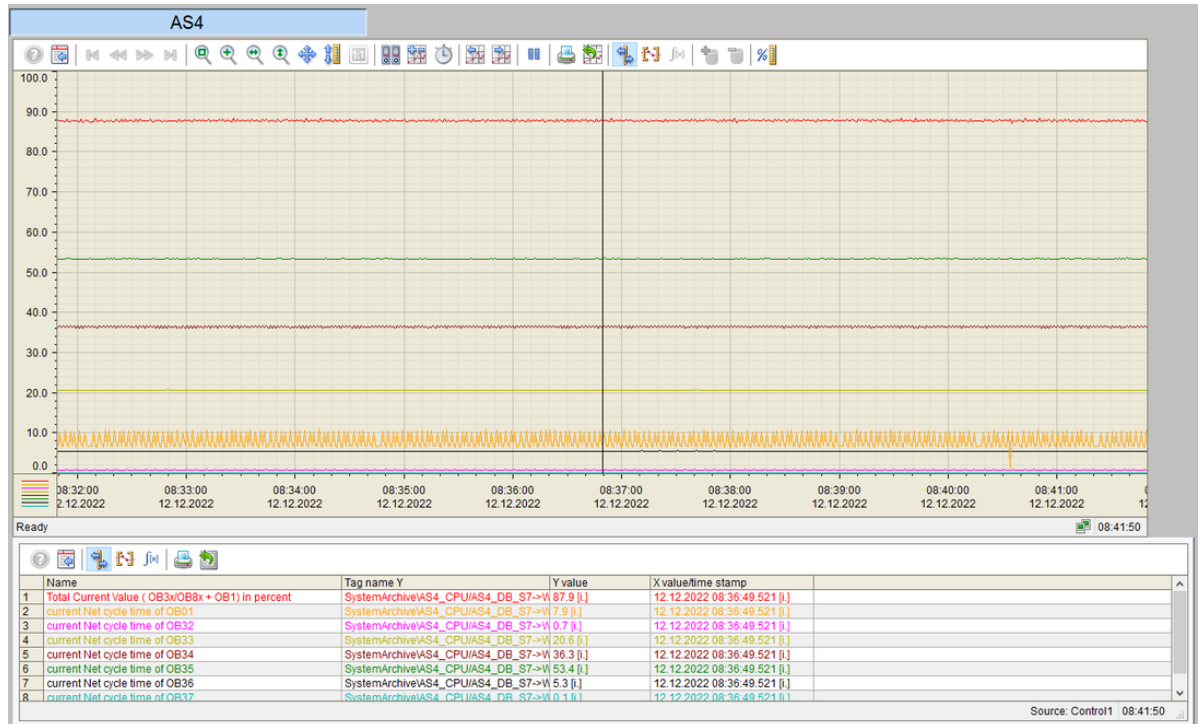
alaisuuteen jaoteltu laitteistoja ohjauksen ja sijainnin kannalta epäloogisesti. Tämä esimerkiksi hankaloittaa vianselvitystä.

### 5.1.2 AS4 Sykliaika on liian pitkä

Prosessiaseman AS4 nykyinen ohjelmallinen toteutus aiheuttaa sen, että aseman toimintaprosessin läpimenoaika on liian pitkä. Toisin sanottuna nykyisellä ohjelmoinnilla asema suorittaa liian monta prosessia, joka aiheuttaa aseman toiminnan hidastumista ja täten toimintahäiriöitä.

Aseman ongelma ei ole muisti. Aseman AS4 käytetty muisti tarkastettiin SIMATIC Manager ohjelmistolla ja ilmeni että aseman työmuistista (Work Memory) 17 % ja latausmuistista (Load Memory) 39 % oli käytetty. Laitteiston OB1 (Organization Block) mitattu sykliaika oli 371ms. Suuri osa ohjelmista on sijoitettu OB (Organization Block) 35:n alaisuuteen, joten asema suorittaa ne 100ms tahdistuksella, jonka kuormituksesta järjestelmän kokonaisviive aiheutuu. Joitain kenttälaitteita on sijoitettu muiden OB-blokkien alaisuuteen, jolloin kuormitusta voidaan rajoittaa ohjelmien pidemmällä tahdistuksella. Laitteiston suorituskykyä voidaan parantaa myös jakamalla koko prosessikuva osiin, eri sykleissä luettavaksi. Tässä hyödynnetään Process Image Partition:ia (PIP). Kukin Process Image Partition liitetään tiettyyn sykliseen OB-lohkoon. Kuitenkin tässä toteutuksessa näiden kaikkien OB-lohkojen sijainti on Process Image Partition 1:ssä (PIP1).

Esimerkkinä otettakoon eräs kwh-mittari. Mittari on sijoitettu OB:hen, jonka viive on 500 ms, mutta se sijaitsee PIP1:ssä. Tällöin asema suorittaa mittarin ohjelman 500 ms:n välein, mutta lukee ohjelman tuloksena syntyvän mittarin arvon 100ms välein, joka johtuu sijainnista PIP1. Tällä ei ole mitään vaikutusta mittaustulokseen, mutta se aiheuttaa turhaa kuormitusta asemalle.



Kuvio 5: Kuvakaappaus AS4 sykli aika-trendistä

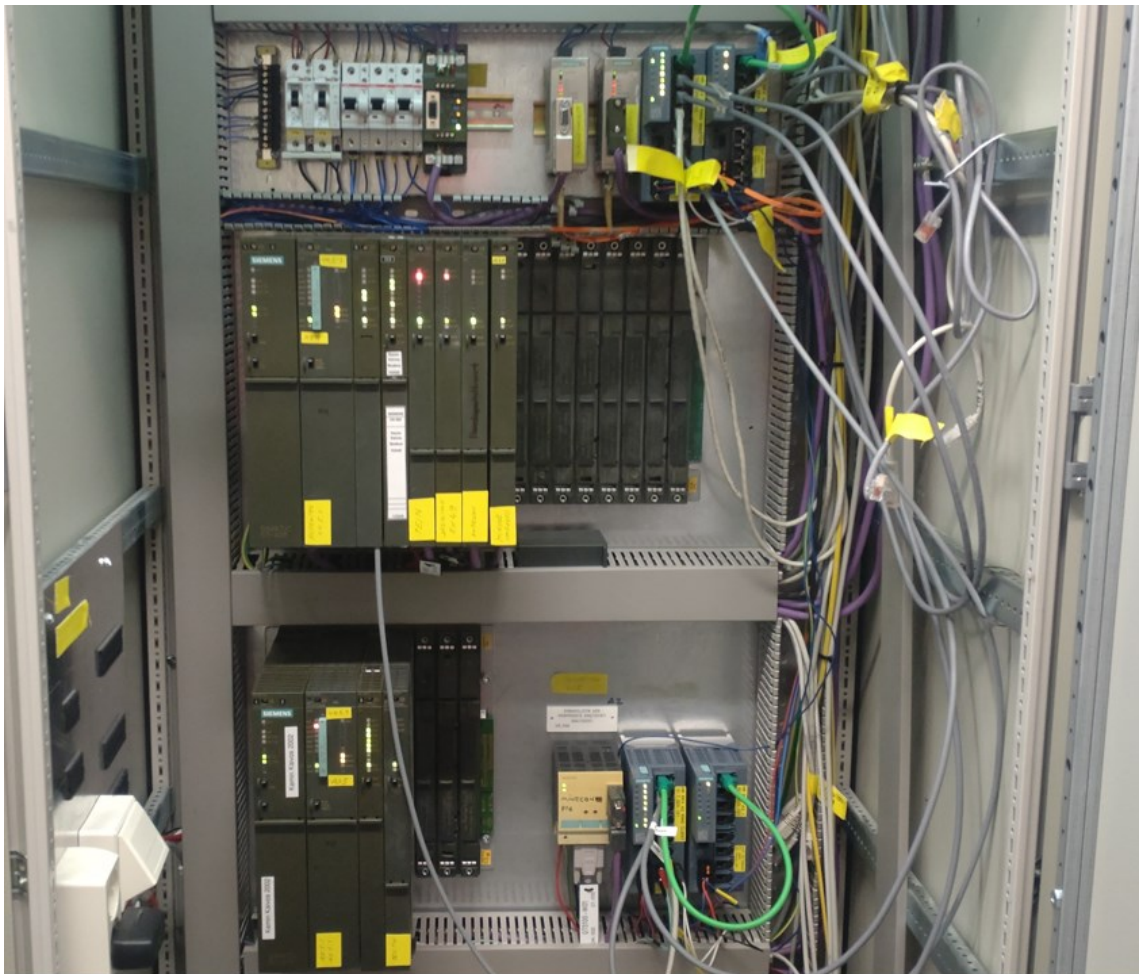
Kuviosta viisi voidaan nähdä Siemens WinCC Scada-ohjelmasta otetusta kuvakaappauksesta prosessiaseman AS4 eri OB-blokkien syklijat ja niiden yhteisaika millisekunneissa. Yhteenlaskettu kokonais-sykli aika on jopa 87,9ms (Kuviossa 5 Punainen viiva). Pisin yksittäisen blokin sykli aika on OB35:n kohdalla ja se on 53,4ms (Kuviossa 5 Vihreä viiva).

### 5.1.3 Kriittiset järjestelmät hajautettu eri asemien alaisuuteen

Yksi nykyisen järjestelmän ongelmista on myös prosessin kriittisten järjestelmien kuten vedenkäsittelyn, rikastushiekka-pumppauksien, tulvapumppauksien, kanava-altaiden järjestelmien ja selkeyttimien sijainti eri prosessiasemien alaisuudessa. Kokemus on osoittanut, että mikäli Profibus-väylässä yksi laite vikaantuu, aiheutuu siitä laaja väylävikä, joka ajaa koko prosessiaseman toiminnot alas. Edellä mainitut järjestelmät ovat prosessin toiminnan kannalta erittäin tärkeitä ja niiden toiminta tulee olla aina toimintakunnossa. Sen vuoksi niiden sijainti pitäisi olla juuri tämän takia oman aseman alaisuudessa, johon prosessin muiden laitteiden vaikutus olisi vähäinen.

## 5.2 Prosessiasemat ja niiden komponentit

Nykyinen prosessiasemien kokoonpano on keskenään hyvin samanlainen. Kaikki prosessiasemat ovat Siemens AS 410 mallisarjaa, joskin niiden kommunikatiokorttien määrä vaihtelee alaisuudessa olevien järjestelmien määrän mukaan. Prosessiasemien ja niiden alaisuudessa olevien järjestelmien yhteys on toteutettu Profibus-väylällä, joko suoralla kaapeloinnilla tai valokuituyhteyden välityksellä, jossa käytetään Siemens OLM (Optical Link Module) viestimunninta.



Kuvio 6: Hienorikastamon prosessiasema AS4 (ylhällä) ja AS5 (alhaalla)

Jokaisen työssä käytettävän, nykyisen prosessiaseman, asennuskiskossa on vapaita paikkoja mahdollisesti tarvittaville uusille korteille. Kortit ja CPU:t ovat jo vanhentuneita malleja, joten uusi asema, AS11, tulee olemaan eri mallia, joskin samaa AS 410 sarjaa.

Taulukko 1. Rikastamon prosessiasemat

<b>Rikastamon Prosessiasemat Laiteluettelo</b>			
<b>AS2 Murskaamo</b>			
<b>Laite</b>	<b>Malli</b>	<b>Osanumero</b>	<b>Lisätiedot</b>
PS	PS 407 10A	407-0KA01-0AA0	
CPU	CPU 417-4H	417-4HT14-0AB0	
CP	CP 443-1	443-1EX11-0XE0	Industrial Ethernet via ISO/TCP/IP and UDP
CP	CP 443-5 EXT	443-5DX05-0XE0	PROFIBUS DP
<b>AS3 Palarikastamo</b>			
<b>Laite</b>	<b>Malli</b>	<b>Osanumero</b>	<b>Lisätiedot</b>
PS	PS 407 10A	407-0KA02-0AA0	
CPU	CPU 417-4H	417-4HT14-0AB0	
CP	CP 443-1	443-1EX11-0XE0	Industrial Ethernet via ISO/TCP/IP and UDP
CP	CP 443-5 EXT	443-5DX05-0XE0	PROFIBUS DP
<b>AS4 Hienorikastamo</b>			
<b>Laite</b>	<b>Malli</b>	<b>Osanumero</b>	<b>Lisätiedot</b>
PS	PS 407 10A	407-0KA01-0AA0	
CPU	CPU 417-4H	4174HT14-0AB0	
CP	CP443-1	443-1EX20-0XE0	Profinet/Industrial Ethernet via ISO/TCP/IP and UDP
CP	CP 443-1	443-1EX11-0XE0	Industrial Ethernet via ISO/TCP/IP and UDP
CP	CP 443-5 EXT	443-5DX04-0XE0	PROFIBUS DP
CP	CP 443-5 EXT	443-5DX03-0XE0	PROFIBUS DP
CP	CP 443-5 EXT	443-5DX04-0XE0	PROFIBUS DP
CP	CP 443-5 EXT	443-5DX03-0XE0	PROFIBUS DP
<b>AS5 Hienorikastamo</b>			
<b>Laite</b>	<b>Malli</b>	<b>Osanumero</b>	<b>Lisätiedot</b>
PS	PS 407 10A	407-0KA01-0AA0	
CPU	CPU 417-4H	417-4HT14-0AB0	
CP	CP 443-1	443-1EX11-0XE0	Industrial Ethernet via ISO/TCP/IP and UDP
CP	CP 443-5 EXT	443-5DX05-0XE0	PROFIBUS DP

Taulukossa 1 on listattu rikastamon toimintoja ohjaavat prosessiasemat ja niiden kortit. Taulukkoon ei ole listattu maanalaisen kaivoksen toimintoihin kuuluvia prosessiasemia koska ne ovat rajattu työn ulkopuolelle ja eivät ole vaikutusyhteydessä ongelmalliseen AS4 asemaan.

## 6 MUUTOSTYÖ JA PROSESSIASEMIEN HAJAUTUS

Tässä osiossa on käsitelty muutostyön pääpiirteet ja sen toteutustapa. Muutostyöstä on sen lisäksi valmistettu muutostyösuunnitelma, joka on liitteenä 1. (Luotamuksellinen, sisältää salassa pidettävää tietoa.) Muutostyön työsuunnitelmassa käsitellään asemien alaisuudessa olevien toimintojen hajautus ja uuden aseman lisäys järjestelmään.

### 6.1 AS11 lisäys järjestelmään

Koska edellä mainitusti AS4 aseman ohjelmallinen kuormitus on kenttälaitteiden määrän takia huomattava, ja työn yhtenä päätarkoituksista on kriittisten toimintojen hajautus omaan prosessiaseman alaisuuteen, lisätään hajautettuun automaatiojärjestelmään kriittisten toimintojen kenttälaitteille oma prosessiasema. Prosessiasema nimetään nykyisen nimeämistavan mukaisesti AS11 asemaksi. AS11 kytketään nykyiseen DCS-järjestelmän Profibus-väylään muiden prosessiasemien tavoin.

Siemensin Osakeyhtiön Tekninen tuki arvioi, että AS 410 sarjan prosessiasemat ovat saatavilla markkinoilla vielä 10–15 vuotta, joten se on elinkaaren puolesta hyvä valinta uudeksi prosessiasemaksi. Edeltävät asemat ovat samaa tuoteperhettä, joskin vanhentuneita, markkinoilta poistuneita malleja. AS 410 sarjan CPU:n lisäksi prosessiasemaan lisätään kolme Profibus CP-korttia kenttälaitteiden väyläyhteyden luomiseksi. Alla olevassa taulukossa 2 on esitetty uuden prosessiaseman laitteistokomponentit. Toisin kuin nykyiset prosessiasemat, uusi asema ei edellytä erillistä virtalähdettä koska aseman käyttöjännite on 230VAC.

Taulukko 2. AS11 Laitelista

AS11 / Uusi Prosessiasema		
Laite	Malli	Osanumero
CPU	SIMATIC PCS7 CPU 410	6ES7654-6CC00-3BF0
CP	CP 433-5 PROFIBUS DP	6GK7443-5DX05-0XE0
CP	CP 433-5 PROFIBUS DP	6GK7443-5DX05-0XE0
CP	CP 433-5 PROFIBUS DP	6GK7443-5DX05-0XE0

AS11 tullaan sijoittamaan hienorikastamon sähkö- ja automaatiotilaan. Sijoituspaikka voisi olla mahdollisesti automaatiokaappi RK4, jossa sijaitsee nykyisellään prosessiasemat AS4 ja AS3. Keskuksesta alimmalla rivistöllä olevia johdotuskouruja purkamalla saataisiin keskukseen luotua sopiva asennustila AS11 asemalle. Kuviossa 7 on esitettyä RK4 keskus ja sen nykyiset asemat AS4 ja AS3.



Kuvio 7: RK4 keskus

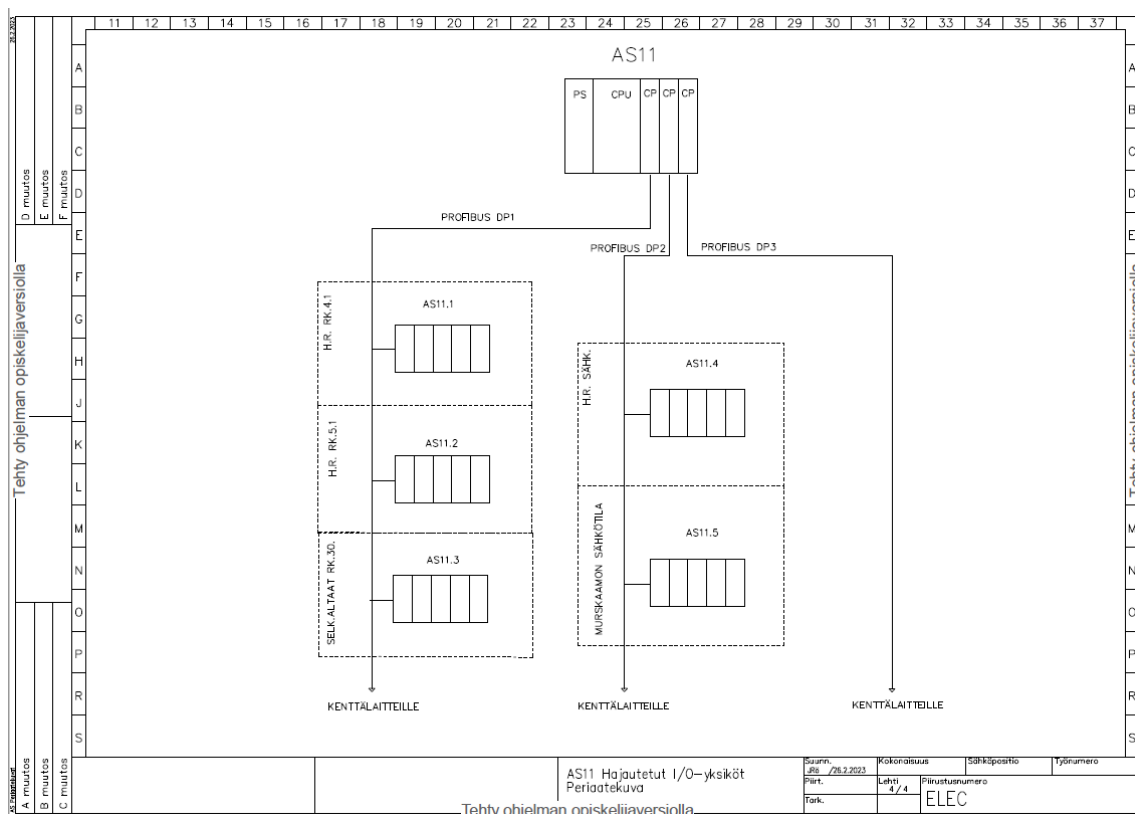
Muutostyöstä johtuvat ohjelmalliset muutoksen nykyisiin prosessiasemiin sekä uusien ohjelmien konfigurointi uuteen AS11 asemaan tullaan tekemään Siemens SIMATIC Manager ohjelmistolla urakoitsijan toimesta.

## 6.2 Kriittisien toimintojen jaottelu AS11 alaisuuteen

Uuden prosessiaseman AS11 alaisuuteen tulevat kriittiset toiminnot ovat rikastusprosessin toimivuuden kannalta tärkeimmät toiminnot, joiden yllättävät häiriöt aiheuttaisivat tuotantokatkoksia ja muita ongelmia. Täten nämä asetetaan uuden oman aseman alaisuuteen nykyisistä AS4 ja AS5 asemista, ohjelmallisen kuorituksen aiheuttaman häiriöriskin minimoimiseksi. Nämä toiminnot ovat vedenkäsittelyitä, kenttäinstrumenttien paineilmojen ohjauksia, rikastushiekan-käsittelyprosessiin kuuluvia toimintoja, selkeyttimet ja muut tärkeät toiminnot.

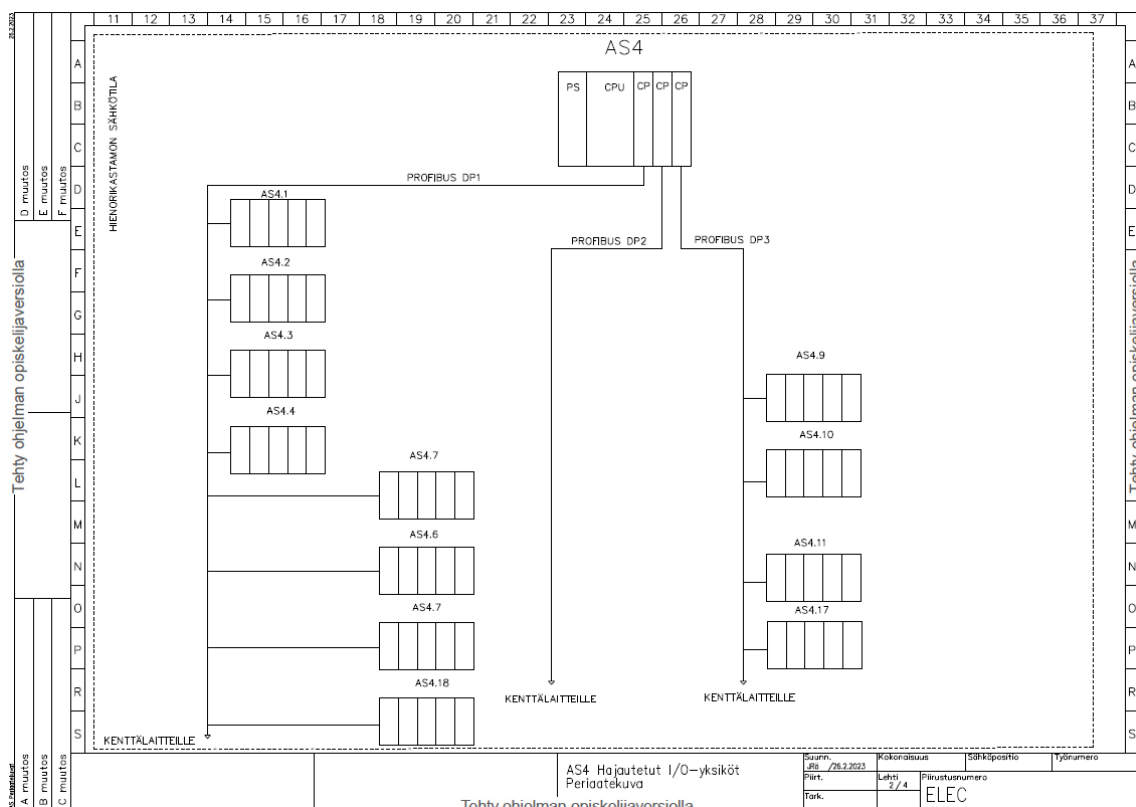
Muutostyö edellyttää huomattavia väyläkaapelointimuutoksia johtuen siitä, että laitteet sijaitsevat nykyisellään eri väylissä. Uuteen asemaan lisätään kolme Profibus CP-korttia, joilla luodaan kolme eri Profibus-väylää AS11 aseman alaisuuteen. Väylässä olevat kenttälaitteet ovat joko suoraan väylään kytkettyjä tai hajautettujen I/O-yksiköiden alaisuudessa. Pitkien etäisyyksien vuoksi on Profibus-väyläkaapelointi muutettu tietyissä kohteissa välillisesti valokuituyhteydeksi Siemens OLM-kuitumuuntimella ja nykyisiä OLM-laitteita tullaan käyttämään muutoksessa. Toinen huomioitava seikka on selkeytysaltaiden ja Veitsiluodon kanavan pumppaamon viestiyhteydet, jotka on toteutettu Radiolink-yhteydellä. Tosin tämäkään ei edellytä muutoksia, lukuun ottamatta yhteyden perässä olevien hajautettujen I/O-yksiköiden positiotunnuksien muuttamista vastaamaan uutta isäntälaitetta.





Kuvio 8: AS11 Hajautetut I/O-yksiköt, Muutostyön tulos

Uusia hajautettuja I/O-yksiköitä AS11 alaisuuteen lisätään kaksi kappaletta. Nämä ovat Siemensin valmistamia ET200M tuoteperheeseen kuuluvia hajautettuja I/O-yksiköitä, jotka ovat valmistekoodiltaan ET200M 6ES7 153-2BA02-0XB0. Nämä yksiköt sijoitetaan hienorikastamon sähkötilan keskuksiin RK4.1 ja RK5.1. ja ne nimetään tunnuksin AS11.1 ja AS11.2. Näiden I/O-yksiköidenalaisuuteen tullaan siirtämään kenttälaiteohjauksia I/O-yksiköistä AS4.2, AS4.4, AS4.5, AS4.6, AS5.1, AS5.2 ja AS5.7. I/O-yksiköt AS4.26, AS4.23 ja AS4.8 tullaan siirtämään AS11 aseman alaisuuteen siten että niiden kenttälaitekytkentöihin ei tehdä muutoksia vaan ne säilyvät ennallaan. Ainoastaan positiotunnus vaihdetaan vastaamaan uutta isäntälaitetta ja täten ne saavat tunnuksat AS11.3 (ent. AS4.26), AS11.4 (ent. AS4.23) ja AS11.5 (ent. AS4.8). Tarkempi selostus Liitteen Muutostyösuunnitelmassa, liitteessä 1, sekä I/O- ja väylälaiteluetteloissa (Liitteet 2,3,6,7,8,9).



Kuvio 9: AS4 Hajautetut I/O-yksiköt, Muutostyön tulos

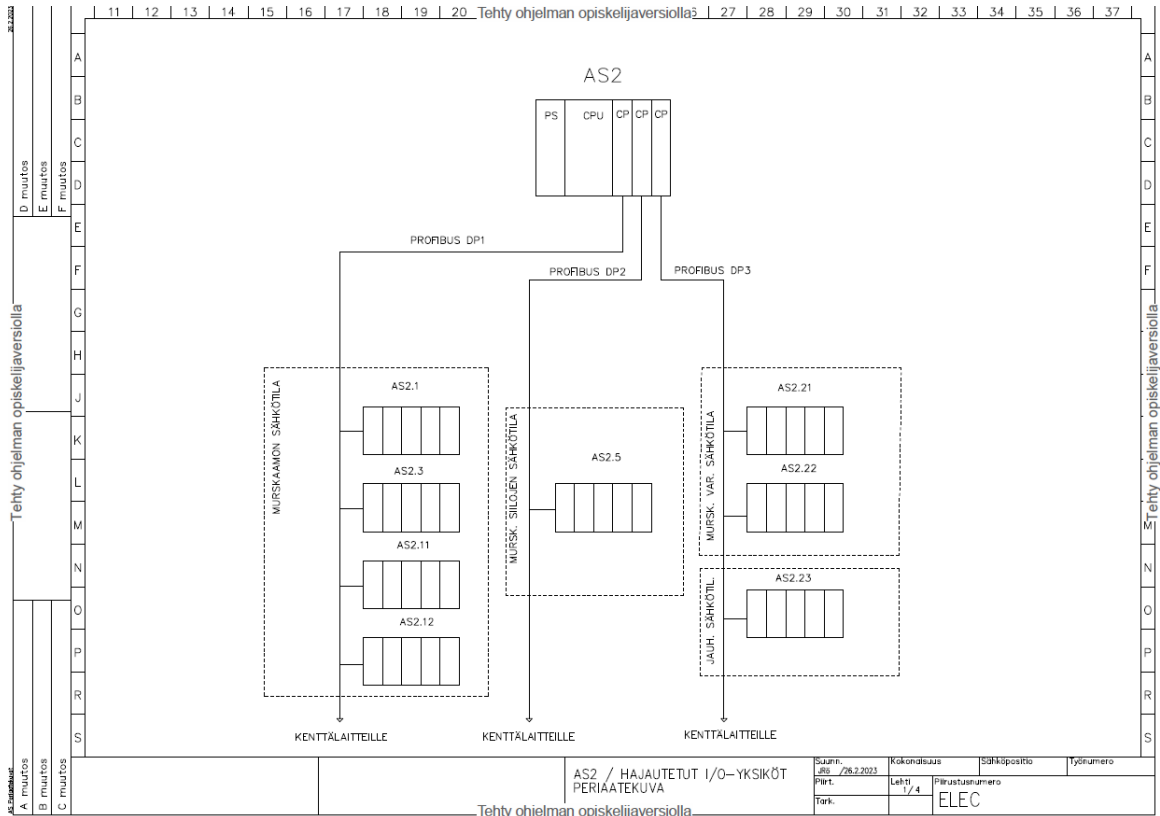
### 6.3 Murskevaraston toimintojen siirto AS2 alaisuuteen

Toinen osa muutostyötä on murskevaraston toimintojen, kuten viisarikuljettimen ja sen ohjauksien sekä sitä syöttävien kuljettimien ohjauksien vaihto AS4 hienorikastamon prosessiasemalta murskaamon AS2 prosessiaseman alaisuuteen. Murskevaraston toiminnot ovat prosessiteknisestä näkökulmasta lähempänä murskaamon toimintoja, kuin hienorikastamon toimintoja. Nämä on kuitenkin liitetty hienorikastamon aseman alaisuuteen johtuen siitä syystä, että sähkötilä, jossa suuri osa laitteista sijaitsee, on hienorikastamon piiriin kuuluvan jauhimon sähkötilä.



Kuvio 10: Murskaamon AS2 asema

Murskevaraston toiminnot sijaitsevat pääosin AS4 aseman Profibus DP5-väylän alaisuudessa. Tämä väyläkortti siirretään AS2 prosessiasemaan, jossa se tulee olemaan Profibus DP3 / kortti 3. Kuvioista 8 voidaan havaita, että asemassa AS2 on vapaita korttipaikkoja jäljellä. Tässä tapauksessa ohjelmalliset, ja johdotusmuutokset ovat vähäisiä koska järjestelmän kenttälaitekytkennät pysyvät samana, samoin kuin osoitteet. Hajautetut I/O-yksiköt muutetaan siten että AS4.21 nimetään uudelleen tunnuksella AS2.21 ja AS4.22 nimetään uudelleen positio-tunnuksella AS2.22. Edelleen kytkennät ja I/O-osoitteet pysyvät samana, joten muutoksien määrä on vähäinen.



Kuvio 11: AS2 Hajautetut I/O-yksiköt, Muutostyön tulos.

Jauhimon sähkötilassa sijaitsevaan keskukseseen RK4.9 lisätään alimmalle vapaalle laitetila-riville uusi I/O yksikkö, tyypiltään: Siemens ET200M 6ES7 153-2BA02-0XB0. Täten uusi hajautettu I/O-yksikkö sijaitsee AS4.10 ja AS4.17 yksiköiden välittömässä läheisyydessä, joista siirretään instrumenttien kaapelointeja uudelle I/O-yksikölle. Asema nimetään positiotunnuksella AS2.23. Tilanpuutteen vuoksi AS2.23 ei mahdu nykyiseen RK4.9 keskukseseen, jossa AS4.10 ja AS4.17 sijaitsee, vaan tämä edellyttää uuden keskuksen lisäämistä lähietäisyydelle. AS2.23 kytetään AS2 väylään DP3/kortti 3.



Kuvio 12: AS4.10 ja AS4.17

#### 6.4 Muutostyön ohjelmalliset muutokset

Muutostyön ohjelmalliset muutokset toteutetaan PCS7-järjestelmään kuuluvalla Siemens SIMATIC Manager ohjelmistolla. Koska laitteiden I/O- ja väyläosoitteet pysyvät muutostyössä samoina samoin kuin myös ohjelmalliset toimintaperiaatteet, voidaan muutostyö suorittaa helposti kopioimalla ohjelmat ja osoitteet niiltä asemilta, jotka ohjaavat kyseisiä kenttälaitteita. Näin muutostyön toteutus on yksinkertaisempaa ja nopeampaa. Ohjelmien kopiointi suoritetaan ennen muutostyön aloitusta ja koko PCS7 järjestelmästä otetaan varmuuskopio, jotta mahdollisten ongelmien kohdatessa voidaan katsoa ohjelmallisen toteutuksen mallia varmuuskopiotiedostoista tai tarvittaessa palata muutosta edeltäneeseen toteutukseen.

#### 6.5 Muutostyön seuraukset prosessiasemien kuormitukseen

Yhtenä päätavoitteena työssä on prosessiaseman AS4 kuormituksen vähentäminen. Asemien muutostyön jälkeistä, ohjelmallista kuormitusta voidaan arvioida karkeasti siten että lasketaan prosentuaalisesti asemien alaisuudessa olevien

laitteiden määrän kasvu tai mahdollinen lasku. Laskelmassa ei huomioida hajautettujen I/O-yksiköiden alaisuudessa olevia kenttälaitteita, vaan hajautetut I/O-yksiköt lasketaan yhdeksi ”väylälaitteeksi”.

Prosessiaseman AS4 kohdalla ennen muutostyötä on sen alaisuudessa olevien väylälaitteiden määrä 210kpl. Ja muutostyön jälkeen 137kpl. Tämä tarkoittaa, että aseman alaisuudessa olevien laitteiden määrä väheni -34,76 %.

Prosessiaseman AS2 kohdalla ennen muutostyötä on sen alaisuudessa olevien väylälaitteiden määrä 56kpl. ja muutostyön jälkeen 84kpl. Tämä tarkoittaa, että aseman alaisuudessa olevien laitteiden määrä kasvoi +33,33 %.

Prosessiaseman AS5 kohdalla ennen muutostyötä on sen alaisuudessa olevien väylälaitteiden määrä 62kpl. Ja muutostyön jälkeen 52kpl. Tämä tarkoittaa, että aseman alaisuudessa olevien laitteiden määrä väheni -16,13 %.

Prosessiaseman AS11 alaisuuteen asennettavien väylälaitteiden määrä on 55kpl.

Muutostyön seurauksena prosessiaseman AS4 alaisuudessa olevien laitteiden määrä vähenee huomattavasti, joten on todennäköistä, että ohjelmallisille kuormituksen vähentämisille kuten Process Image Partition:in muutoksille, ei ole välttämätöntä tarvetta. Tämä voidaan kuitenkin pitää mahdollisena optiona, mikäli tulevaisuudessa väylälaitteiden määrää lisätään huomattavasti AS4 alaisuuteen.

## 6.6 Muutostyön dokumentaatiot

Muutostyön dokumentaatioita ovat Liitteet 1–9, jotka ovat luottamuksellista, ei julkaistavaa dokumentaatiota. Muutostyösuunnitelmassa (liite 1.) käydään läpi laitteistojen jaottelu ja tarvittavat väylä- ja kenttälaitemuutokset sekä mahdolliset laitteiden uudelleen positioinnit. I/O-luetteloissa on listattu jokaisen prosessiaseman alaisuudessa olevien väylälaitteiden sekä hajautettujen I/O-yksiköiden alaisuudessa olevien kenttälaitteiden osoitteet ja tiedot. I/O-luetteloihin on kirjattu AS11 aseman alaisuuteen tulevien uusien laitteiden vanhat osoitteet. Nykyisien asemien kohdalla AS2, AS4 ja AS5, on I/O-luetteloihin kirjattu ne laitteistot, jotka ovat niiden alaisuudessa muutostyön toteutuksen jälkeen.

Väylälaiteluetteloissa on kirjattuna väylässä olevien laitteiden listaus, samoin kuin I/O-luettelossa, mutta ilman hajautettujen I/O-yksiköiden alaisuudessa olevien kenttälaitteiden positiioita ja osoitteita. Tämä helpottaa ja nopeuttaa dokumentin käsittelyä koska kyseessä on huomattavasti suppeampi dokumentti. Tätä voidaan hyödyntää silloin kuin kyseessä ei ole hajautettuun I/O-yksikköön tai sen kenttälaitteeseen kohdistuva työ, vaan työ kohdistuu suoraan väylään kytkettyyn laitteeseen.

## 7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Outokumpu Chrome Oy:n Kemin kaivoksen sähkökunnossapidolle suunnitelma liittyen kaivoksen hajautetun automaatiojärjestelmän suunnitteilla olevaan muutostyöhön. Opinnäytetyössä tehtyä prosessiasemien alaisuudessa olevien laitteiden jaottelua ja sitä varten tehtyä dokumentaatiota hyödynnetään automaatiojärjestelmän muutostyön lopullisessa toteutuksessa.

Työ aloitettiin kartoittamalla rikastamon tuotantoprosessin toiminta ja tarpeet automaatiojärjestelmän muutoksen näkökulmasta. Rikastamon käyttöhenkilökuntaa haastateltiin työn kartoitusvaiheessa ja he antoivat selkeän määritteen sille mitä toimintoja millekin prosessiasemalle jaotellaan. Rikastamon sähkökunnossapidon henkilökunta määrittä tarpeet alustavalle muutostyön suunnitelmalle, joka tehtiin automaatiojärjestelmän muutostyön tueksi.

Laitteistojen jako suoritettiin etsimällä kaivoksen dokumentaatioarkistosta automaatiojärjestelmään liittyvät laitteistodokumentaatiot. Näiden dokumenttien avulla laitteiden nykyinen sijainti automaatiojärjestelmässä, kunkin prosessiaseman alaisuudessa, kartoitettiin. Laitteistojen uusi hajautus prosessiasemien alaisuuteen suunniteltiin automaatiojärjestelmän käytettävyyden ja toimintavarmuuden, sekä muutostyön helppouden kannalta parhaimmalla mahdollisella tavalla, ottaen kuitenkin huomioon prosessin tarpeet. Työn tuloksina tehtiin väylälaitte- ja I/O-listat sekä muutostyön alustava työsuunnitelma.

Työn toimeksiantajan asettamat tavoitteet saavutettiin työn suorituksessa. Työn tuloksia tullaan hyödyntämään kaivoksella myöhemmin toteutettavassa automaatiojärjestelmän muutostyössä. Kaiken kaikkiaan työ onnistui mielestäni hyvin ja työn aikana sain mielenkiintoista tietoa hajautetuista automaatiojärjestelmistä, kuten myös Siemens PCS7-järjestelmästä.



## LÄHTEET

Berger, H. 2013. Automating with SIMATIC. Erlangen: Publicis Publishing

Kaivosvastuu 2021. 2021 Outokumpu Chrome Oy. Viitattu 9.12.2022.  
<https://www.kaivosvastuu.fi/yrityskortti/outokumpu-chrome-oy-2021/>

Keinänen, T. & Sumujärvi, M. 2019. Automaatiotekniikka. Helsinki: Sanoma Pro.

Kippo, A. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima.

Mitchell Ronald W. 2004. Profibus, a pocket guide. Alexander: ISA.

Mäkinen, M., Kallio, R., Tantarimäki, R., Nyström S. & Kallio, P. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. Helsinki: Otava.

Nutzerorganisation e.V. (PNO) 2014. PROFINET System Description. Viitattu 11.12.2022.

<https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=51714&token=4ea5554cbb80a066e805a879116ead2a759c23c3>

Outokumpu Oyj 2021. Outokummun historia 27.8.2021. Viitattu 9.12.2022  
<https://www.outokumpu.com/about-outokumpu/history-of-outokumpu>

Outokumpu Oyj 2022. Tornio - Ferrochrome. Viitattu 9.12.2022  
<https://www.outokumpu.com/fi-fi/locations/tornioferrochrome>

Profibus & Profinet International 2018. PROFINET The leading communication system. Viitattu 29.3.2023.

<https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=74347&token=781db12c0cba1f89ba23b8b91aa4be7112eeab28>

PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO) 2016. PROFIBUS System Description. Viitattu 25.2.2023

11.12.2022.<https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=52380&token=4868812e468cd5e71d2a07c7b3da955b47a8e10d>

ProfineWS 2021. New Video: PROFINET RT vs IRT? Viitattu 25.2.2023.  
<https://profineWS.com/2021/09/new-video-profinet-rt-vs-irt/PROFIBUS>

Siemens AG. 2003. SIMATIC CFC for S7. Viitattu 18.12.2022.

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/182/15236182/att\\_80396/v1/CFC\\_for\\_S7\\_e.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/182/15236182/att_80396/v1/CFC_for_S7_e.pdf)

Siemens AG. 2010. SEQUENTIAL FUNCTION CHART. Viitattu 18.12.2022.

<https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/pcs7/v7-0/p01-07-sequential-function-chart-rc1012-en.pdf>

Siemens AG. 2017. SIMATIC PCS 7 Process Control System. Karlsruhe: Siemens.

Siemens AG. 2020. PROFINET RT VS IRT. Viitattu 21.3.2023.  
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:30e0ba94-b1af-4488-98dd-8fe716382cc0/siemens-profinet-rt-vs-irt-webinar-13oct2020.pdf>

Siemens AG.2022. SIMATIC WinCC V7. Viitattu 15.12.2022.  
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:eac06c86-f121-48f8-874f-30355aa6b111/difa-i10159-00-7600-simatic-winncc-v7.pdf>

Siemens Osakeyhtiö. 2023. Siemens PCS7 Kysymyksiä. Yksityinen sähköpostiviesti 23.2.2023. Viestin saaja: Jani Rönkkö.

Yle Uutiset 2004. AvestaPolaritin nimi muuttui. Viitattu 9.12.2022.  
<https://yle.fi/a/3-5152963>

## LIITTEET

- Liite 1. Muutostyön työsuunnitelma (Luottamuksellinen)
- Liite 2. AS11 I/O-luettelo (Luottamuksellinen)
- Liite 3. AS11 Väylälaiteluettelo (Luottamuksellinen)
- Liite 4. AS2 I/O-luettelo (Luottamuksellinen)
- Liite 5. AS2 Väylälaiteluettelo (Luottamuksellinen)
- Liite 6. AS4 I/O-luettelo (Luottamuksellinen)
- Liite 7. AS4 Väylälaiteluettelo (Luottamuksellinen)
- Liite 8. AS5 I/O-luettelo (Luottamuksellinen)
- Liite 9. AS5 Väylälaiteluettelo (Luottamuksellinen)

## Liite 10: Muutostyön työselostuksen sisällysluettelo 1(2)

## SISÄLLYS

1 TYÖN KUVAUS.....	5
2 KÄSITTELYOSA .....	6
2.1 Työturvallisuus .....	6
2.2 Työn suorituksen pääpiirteet .....	6
2.3 Työn suorituksessa käytettävä laitteisto .....	7
3 MURSKEVARASTON TOIMINTOJEN SIIRTO AS2 ALAISUUTEEN .....	8
3.1 Lisättävä laitteisto .....	8
3.2 Muutostyön suoritus .....	9
3.2.1 AS2.23 lisäys jauhimon sähkötilaan .....	9
3.2.2 Kenttäväylässä olevien laitteiden siirto .....	10
4 ASEMAN AS11 LISÄYS JÄRJESTELMÄÄN .....	12
4.1 AS11 yksikön sijoitus .....	12
4.2 AS11 laitteistotyyppi .....	13
4.3 Lisättävät hajautetut I/O-yksiköt .....	13
5 AS11 ALAISUUTEEN SIIRRETTÄVIEN VEDENKÄSITTELYJEN JA PAINEILMOJEN TOIMINNOT .....	14
5.1 Selkeytysaltaiden ja Veitsiluodon kanavan pumppaamojen nykyinen toteutus .....	16
6 AS11 ALAISUUTEEN SIIRRETTÄVIEN RIKASTUSHIEKKAKÄSITTELYJEN JA FLOKKULOINNIN TOIMINNOT .....	17
7 AS11 MUUTOSTYÖN TOTEUTUS.....	19
7.1 AS11 PROFIBUS DP1 .....	19
7.1.1 AS11.1 (HR Sähkötila).....	19
7.1.2 AS11.2 (HR Sähkötila).....	21
7.1.3 AS11.3 (entinen AS4.26 Selkeytysaltailla) .....	22
7.1.4 Veitsiluodon kanavan pumppaamon ja selkeytysaltaiden muutokset 22	
7.2 AS11 PROFIBUS DP2 .....	23
7.2.1 AS11.4 (Ent.AS4.23 Flokkulointi) .....	23
7.2.2 AS11.5 (Ent. AS4.8 Korjaamo) .....	23
7.2.3 Väylän 2 muut laitteet .....	24

## Liite 10: Muutostyön työselostuksen sisällysluettelo 2(2)

---

7.3 AS11 PROFIBUS DP3 .....	24
7.4 AS11 ohjelmallinen toteutus.....	25
8 AIKATAULU JA VAADITTAVAT RESURSSIT .....	26
8.1 Aikataulu .....	26
8.2 Projektin henkilöresurssit .....	26
9 RISKIENHALLINTA.....	27
LIITTEET .....	28